

操作系统—— 内核与设计原理 (第四版)

Operating Systems

Internals and Design Principles

Fourth Edition

[美] William Stallings 著

魏迎梅 王 涌 等译

邹 鹏 审校



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

URL: <http://www.phei.com.cn>

国外计算机科学教材系列

操作系统——内核与设计原理

(第四版)

Operating Systems: Internals and Design Principles
Fourth Edition

[美] William Stallings 著

魏迎梅 王 涌 等译

邹 鹏 审校

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

操作系统是计算机系统的核心系统软件,负责控制和管理整个系统,使之协调工作。本书不仅全面系统地讲述了操作系统的基本概念、原理和方法,而且以当代最流行的两个操作系统——Windows 2000和UNIX为例,全面清楚地展现了当代操作系统的本质和特点,使本书的内容具有先进性和适应性。

本书既注重对操作系统的经典内容的论述,又紧密联系当代流行的设计问题以及当前操作系统的发展方向,可作为大学计算机专业或计算机应用相关专业的本科生教材和参考书,也可供从事计算机方向研究的专业技术人员使用。

Authorized translation from the English language edition published by Prentice-Hall, Inc. Copyright © 2001.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or by any information storage retrieval system, without permission from the Publisher.

Simplified Chinese language edition published by Publishing House of Electronics Industry. Copyright © 2001.

本书中文简体专有翻译出版版权由 Pearson 教育集团所属的 Prentice-Hall, Inc. 授予电子工业出版社。其原文版权及中文翻译出版版权受法律保护。未经许可,不得以任何形式或手段复制或抄袭本书内容。

图书在版编目(CIP)数据

操作系统——内核与设计原理 / (美)斯大林(Stallings, W.)著;魏迎梅等译. —4版.

—北京:电子工业出版社, 2001.6

(国外计算机科学教材系列)

书名原文: Operating Systems: Internals and Design Principles (Fourth Edition)

ISBN 7-5053-6728-5

I. 操... II. ①斯...②魏... III. 操作系统(软件) IV. TP316

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第038368号

丛 书 名: 国外计算机科学教材系列

书 名: 操作系统——内核与设计原理(第四版)

原 书 名: Operating Systems: Internals and Design Principles (Fourth Edition)

著 者: [美] William Stallings

译 者: 魏迎梅 王 涌 等

审 校 者: 邹 鹏

责任编辑: 窦 昊

排版制作: 今日电子公司制作部

印 刷 者: 北京东光印刷厂

出版发行: 电子工业出版社 URL: <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编: 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 38.25 字数: 980千字

版 次: 2001年6月第1版 2001年6月第1次印刷

书 号: ISBN 7-5053-6728-5

TP · 3760

定 价: 55.00元

版权贸易合同登记号 图字: 01-2000-3471

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系调换。联系电话: 88211980 68279077

出版说明

随着 21 世纪的到来, 计算机技术的发展更加迅猛, 在各行各业的应用更加广泛, 越来越多的高等院校增设了有关计算机科学的课程内容, 或对现有计算机课程设置进行了适当调整, 以紧跟前沿技术。在这个教学体系和学科结构变革的大环境下, 对适合不同院系、不同专业、不同层次的教材的需求量与日俱增。此时, 如果能够借鉴、学习国外一流大学的先进教学体系, 引进具有先进性、实用性和权威性的国外一流大学计算机教材, 汲取其精华, 必能更好地促进中国高等院校教学的全面改革。

美国 Prentice Hall 出版公司是享誉世界的高校教材出版商, 自 1913 年成立以来, 一直致力于教材的出版, 所出版的计算机教材为美国众多大学采用, 其中有不少是专业领域中的经典名著, 已翻译成多种文字在世界各地的大学生中使用, 成为全人类的共同财富。许多蜚声世界的教授、学者都是该公司的资深作者, 如道格拉斯·科默 (Douglas E. Comer)、威廉·斯大林 (William Stallings) 等。早在 1997 年, 电子工业出版社就从 Prentice Hall 引进了一套计算机英文版专业教材, 并将其翻译出版, 同时定名为《国外计算机科学教材系列》(下称: 第一轮教材)。截至 2000 年 12 月, 该系列教材已出版 23 种, 深受读者欢迎, 被许多大学选为高年级学生和研究生教材或参考书。

4 年过去了, 已出版的教材中多数已经有了后续版本。因此, 我们开始设计新一轮教材 (第二轮教材) 的出版, 成立了由我国计算机界著名专家和教授组成的“教材出版委员会”, 并结合第一轮教材的使用情况和师生反馈意见, 组织了第二轮《国外计算机科学教材系列》出版工作。

第二轮教材的出版原则为:

1. 引进 Prentice Hall 出版公司 2000 年和 2001 年推出的新版教材, 作为替换版本。
2. 在著名高校教授的建议下, 除了从 Prentice Hall 新选了一些教材之外, 还从 McGraw-Hill 和 Addison Wesley Longman 等著名专业教材出版社、麻省理工学院出版社和剑桥大学出版社等著名大学出版社引进了一些经典教材, 作为增补版本。
3. 对于第一轮中无新版本的优秀教材, 我们将其作为沿用版本, 直接进入第二轮使用。
4. 对于第一轮中翻译质量较好且无新版本的教材, 我们将其进行了修订, 也作为沿用版本, 进入第二轮使用。

这次推出的教材覆盖学科范围广、领域宽、层次多, 既有本科专业课程教材, 也有研究生课程教材, 以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求。广大师生可自由选择 and 自由组合使用。

按照计划, 本轮教材规划出版 37 种, 其中替换版本 8 种, 新增版本 14 种, 沿用版本 15 种。教材内容涉及的学科方向包括网络与通信、操作系统、计算机组织与结构、算法与数据结构、数据库与信息处理、编程语言、图形图像与多媒体、软件工程等。本轮教材计划于 2001 年 7 月前全部出版。教材的使用年限平均为 3 年。我们还将陆续推出一些教材的参考课件, 希望能为授课老师提供帮助。

为了保证本轮教材的选题质量和翻译质量, 我们约请了清华大学、北京大学、北京航空航天大学、复旦大学、上海交通大学、南京大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、华中科技大学、西安交通

大学、国防科学技术大学、解放军理工大学等著名高校的教授和骨干教师参与了本轮教材的选题、翻译和审校工作。他们中既有讲授同类教材的骨干教师和博士,也有积累了几十年教学经验的教授和博士生导师。

在本轮教材的选题、翻译和编辑加工过程中,为提高教材质量,我们做了大量细致的工作,包括:

1. 对于新选题和新版本进行了全面论证。
2. 对于沿用版本,认真审查了前一版本教材,修改了其中的印刷错误。
3. 对于译者和编辑的选择,达到了专业对口。
4. 对于从英文原书中发现的错误,我们通过与作者联络、从网上下载勘误表等方式,一一做了修改。
5. 对于翻译、审校、编辑、排版、印刷质量进行了严格的审查把关。

通过这些工作,保证了本轮教材的质量较前一轮有明显的提高。相信读者一定能够从字里行间体会到我们的这些努力。

今后,我们将继续加强与各高校教师的密切联系,为广大师生引进更多的国外优秀教材和参考书,为我国计算机科学教学体系与国际教学体系的接轨做出努力。

由于我们对国际计算机科学、我国高校计算机教育的发展存在认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多有待提高之处,恳请广大师生和读者提出批评和建议。

电子工业出版社
2001年春

教材出版委员会

主任	杨芙清	北京大学教授 中国科学院院士 北京大学信息与工程学部主任 北京大学软件工程研究所所长
委员	王 珊	中国人民大学信息学院院长、教授
	胡道元	清华大学计算机科学与技术系教授 国际信息处理联合会通信系统中国代表
	钟玉琢	清华大学计算机科学与技术系教授 中国计算机学会多媒体专业委员会主任
	谢希仁	中国人民解放军理工大学教授 全军网络技术研究中心主任、博士生导师
	尤晋元	上海交通大学计算机科学与工程系教授 上海分布计算技术中心主任
	施伯乐	上海国际数据库研究中心主任、复旦大学教授 中国计算机学会常务理事、上海市计算机学会理事长
	邹 鹏	国防科学技术大学计算机学院教授、博士生导师 教育部计算机基础教学课程指导委员会副主任委员
	张昆藏	青岛大学信息工程学院教授

译者序

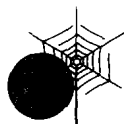
操作系统是控制应用程序执行的核心系统程序,它是应用程序和计算机硬件之间的接口,负责控制和管理整个系统,使之协调工作。操作系统的基本原理是计算机专业学生必须学习和掌握的基本课程,也是计算机应用人员深入了解和使用计算机的必备知识。随着计算机系统日新月异的发展变化,操作系统的结构和能力也在逐步发展。近年来,许多新的设计要素引入到新操作系统以及现有操作系统的新版本中,使操作系统产生了本质性的变化。

本书不仅全面系统地讲述了操作系统的基本概念、原理和方法,而且以当代最流行的两个操作系统——Windows 2000和UNIX为例,全面清楚地展现了当代操作系统的本质和特点,并且与当代流行的设计问题以及当前操作系统的发展方向联系起来,使本书的内容具有先进性和适应性。

本书分为7大部分,共15章。第一部分综述了计算机系统和操作系统的一些基本概念;第二部分详细讲述进程、多线程、对称多处理(SMP)和微内核,并分析了单一系统中的并发机制,重点讲述了互斥和死锁问题;第三部分全面讲述了内存管理技术;第四部分对多种进程调度方法进行了分析比较,同时还讨论了线程调度、SMP调度和实时调度;第五部分讲述了操作系统中有关I/O功能和文件系统的管理问题;第六部分分析了计算机联网技术的主要趋势,包括TCP/IP、客户/服务器计算和集群,同时还介绍了分布式系统开发中的一些主要设计领域;第七部分概述了线程以及计算机和网络的安全机制。

本书具有许多适用于教学和自学的特点,书中使用了大量的图和表来阐明容易混淆的概念,并提供了易于查找的词汇表、常用的缩略语表和参考文献;每一章还包括进一步学习的难点和建议,并提供了便于复习的关键术语列表;每章之后均配有习题,不仅可以加深和巩固对概念的理解,而且有助于培养创造性思维能力。全书内容深入浅出,实例丰富,结构清晰,是学习和掌握操作系统基本原理的一本优秀书籍。

本书的翻译主要由魏迎梅和王涌负责,参加翻译的还有彭伟、刘越、王晓光、曾毅强等。最后特别感谢邹鹏教授,他在百忙之中抽出宝贵时间认真审校了全书的译稿,并提出了一些很有价值的修改意见。



本书的 Web 站点

Web 站点 WilliamStallings.com/OS4e.html 为使用本书的教师和学生提供支持, 该站点包括以下内容:



课程支持资料

课程支持资料包括:

- 本书所有插图的 PDF 格式副本。
- 本书所有表格的 PDF 格式副本。
- 本书所有算法的 PDF 格式副本, 包括 Java 代码和易读的类 Pascal 伪代码, 还包括一本简单的 Java 入门读物。
- 为便于参考, 本书中的所有 Windows 和 UNIX 材料都重新整理到两个 PDF 格式的文档中。
- 用于辅助教学的一组 PowerPoint 幻灯片。
- 用于辅助学习的 HTML 格式课程笔记。
- Computer Science Student Support Site: 包含许多对计算机课程学习非常有用的链接和文档。这个站点包括相关的数学基础知识回顾; 关于研究、写报告、做作业的建议和指导; 关于计算机科学的研究报告和书目等资源的链接; 其他有用的链接。
- 本书 (指英文原书——编者注) 的勘误表, 每月更新。



操作系统课程

OS4e 站点包括了关于使用本书进行教学的其他 Web 站点的链接, 这些站点为如何安排课程进度以及主题顺序提供了有用的思想, 此外还包括一些非常有用的资料和素材。



有用的 Web 站点

OS4e Web 站点包括了与相关站点的链接。这些链接覆盖了很宽广的主题领域, 使学生可以进行深入的学习和研究。



Internet 邮件列表

维护 Internet 邮件列表是为了给使用本书的教师之间以及教师和作者之间提供一种交流信息、提出建议、探讨问题的方便途径。本书的 Web 站点还提供订购信息。



操作系统工具

本书的 Web 站点包括了与 Nachos、OSP 和 BACI 站点的链接, 这些站点分别对应一个作为项目实现框架的软件包, 每个站点都包含可下载的软件和背景信息。更多的信息请参阅附录 C。

前言

目标

本书是一本关于操作系统的概念、结构和机制的教材,其目的是尽可能清楚和全面地展现当代操作系统的本质和特点。

这是一项具有挑战性的任务。首先,需要为各种各样的计算机系统设计操作系统,包括单用户工作站和个人计算机、中等规模的共享系统、大型计算机和超级计算机以及诸如实时系统之类的专门机器。多样性不仅表现在机器的容量和速度上,而且表现在具体应用和系统支持的需求上;第二,计算机系统正以日新月异的速度发展变化,操作系统设计中的许多重要领域都是新近开始研究的,而关于这些领域以及其他新领域的研究工作仍然在继续着。

尽管存在着多样性和变化快等问题,一些基本概念仍然贯穿始终,当然,这些概念的应用依赖于当前的技术状况和特定的应用需求。本书的目的是对操作系统设计的基本原理提供全面的讨论,并且与当代流行的设计问题以及当前操作系统的发展方向联系起来。

示例系统

本书试图使读者熟悉当代操作系统的设计原理和实现问题,因此单纯讲述概念和理论是远远不够的,必须与现实世界中的设计选择相联系,通过具体的例子来说明这些概念。本书选择了两个操作系统作为运行实例:

- **Windows 2000:** 用于个人计算机、工作站和服务器的多任务操作系统。作为一种新的操作系统,它融入了操作系统发展的最新技术,此外,Windows 2000 是首先采用面向对象设计原理设计的商业操作系统之一。
- **UNIX:** 多用户操作系统最初是为小型计算机而设计的,但后来广泛用于从微机到超级计算机的各种机器中。有三种版本的 UNIX: UNIX SVR4 是一个广泛使用的系统,包括许多最新的特征;Solaris 是用得最多的 UNIX 商业版本,包括多线程和一些其他特征,这在 SVR4 和大多数其他的 UNIX 版本中是没有的;最后, Linux 是一个非常普及且源码开放的 UNIX 版本。

选择这些系统是由于它们的相关性和代表性,关于这些示例系统的讨论将贯穿于本书的全部内容,而不是集中在某一章或附录部分。这样,在讨论并发性的过程中,将讲述每个示例系统的并发机制,并讨论各个设计选择的动机,使用这种方法可以通过真实的例子加深对某一特定章节中的设计概念的理解。

适合对象

本书是为高等院校师生和专业人员编写的。作为教材,本书对应于计算机科学、计算机工程和电子工程专业一个学期的操作系统课程,书中包括 IEEE Model Program in Computer Science and Engi-

neering 的 Subject Area 5 中的主题, 还包括 ACM Recommendations for the Undergraduate Program in Computer Science 的 CS6 和 CS10 中与操作系统相关的主题。本书还是一本适合自学人员的基础参考书。

本书具有许多适用于教学的特征, 包括使用大量的图和表来阐明容易混淆的内容。此外, 本书还包括术语表、常用的缩略语和参考文献。每一章还包括进一步学习的难点和建议、用于复习的关键术语列表和复习题。

为教师和学生提供的 Internet 服务

本书的 Web 站点为教师和学生提供支持, 该站点包括与其他相关站点的链接、书中所有图表的 PDF (Adobe Acrobat) 格式文档和 Internet 邮件列表, 其 Web 页位于 WilliamStallings.com/OS4e.html, 更多信息请参阅前面的“本书的 Web 站点”。建立 Internet 邮件列表使得使用本书的教师可以相互之间或与作者交流信息、建议和问题。

操作系统项目

对许多教师而言, 操作系统课程的一个重要内容是, 通过一个项目或一组项目使得学生能够获得身临其境的体验, 以加深对课本中概念的理解。本书为课程提供了一个项目部分, 提供了关于三个软件包的信息, 这三个软件包可用作实现项目的框架: 用于开发操作系统部件的 OSP 和 Nachos 以及用于学习并发机制的 BACI。此外, 教师手册包括一系列小的程序设计项目, 每个项目需要一两周的时间, 它们覆盖了很宽的主题范围, 可以在任何平台上用任何合适的语言实现, 还有一些研究项目和阅读/报告任务。详细信息请参阅附录。

第四版中的新内容

自从本书第三版出版以来的三年时间里, 操作系统领域不断发展创新, 在这个新的版本中, 笔者试图捕获这些变化, 以保证本书能够宽广全面地覆盖整个领域。在修订过程时, 有很多从事操作系统课程教学工作的教授和相关领域的专业人员对本书进行了审阅, 使得许多地方的叙述更加清楚和严密, 图解也得到了进一步的改进, 同时, 还增加了一些新的“实施现场试验”的问题。

除了这些改进教学方法、加强用户之间友谊的地方外, 本书的技术内容也进行了彻底的更新, 以反映该领域中的最新变化。

致谢

新版本得益于很多花费了大量的时间和精力进行审阅的专家和教授。Boleslaw Syzmannski、Atul Prakash (U. of Michigan)、Deborah Frinke (University of Idaho)、Karen Lentz (Tufts University)、Scott Stoller (Indiana U.) 和 Stephen Murrell (University of Miami) 审阅了全部或部分原稿, Stephen Krebsbach (South Dakota State)、Carolyn Crouch (U. of Minnesota, Duluth) 和 Thomas Skinner (Boston University) 审阅了本书的提案。

还要感谢很多为本书的单章进行审阅的人: Nicole Kaiyan(两章)、Greg Law、Marc Bumble、Sunil Kittur、Kasper Verdich Lund、Jochen Hollmann、Paul Lu、Vijay Gupta、Marisa Gil、Kevin E. Fu、Austin Donnelly、Frank Adelstein、Sameh Elnikety、Chris Colohan、Alex Petrescu、Michael Hunter、Tim Harris、Steven Wadsworth、Johan Rydberg、Zhihui Zhang、Dave Mitchell、Manoj Pillai、Jim Johnson、Thorsten Kramp、Gary Wong、Dr. Amr El-Kadi、Jon Tidswell、Holger Peine、Thierry Cornilleau、Isabel Muñoz 和 Christopher Wood。此外，Microsoft 的 Narayanan Ganapathy 和 Dave Probert 对有关 Windows 2000 的资料进行了审阅。

我还要感谢 David Stockton 将所有伪代码翻译成 C 和 Java；感谢 Michael Kifer 和 Scott A. Smolka (SUNY-Stony Brook) 对附录 D 的贡献；感谢 Bill Bynu (College of William and Mary) 和 Tracy Camp (Colorado School of Mines) 对附录 E 的贡献；感谢 Steve Taylor (Worcester Polytechnic Institute) 对教师手册中程序设计项目和阅读 / 报告任务的贡献；感谢 Tan N. Nguyen 教授 (George Mason University) 对教学手册中研究项目的贡献。

最后，我要感谢负责出版本书的人们，感谢他们出色的工作，这包括 Prentice Hall 的全体职员，特别是我的编辑 Toni Holm 和 Alan Apt 以及产品经理 Rose Kernan。此外，Warde Publishers 的 Jake Warde 负责补遗和审阅，V&M Graphics 的 Joanna V. Pomeranz 负责本书的印刷，Pat Daly 负责副本编辑，在此一并表示感谢。

目 录

读者指南	1
第一部分 背景	5
第 1 章 计算机系统概述	6
1.1 基本构成	6
1.2 处理器寄存器	6
1.2.1 用户可见寄存器	7
1.2.2 控制和状态寄存器	8
1.3 指令的执行	9
1.3.1 取指令和执行指令	9
1.3.2 I/O 函数	11
1.4 中断	12
1.4.1 中断和指令周期	13
1.4.2 中断处理	15
1.4.3 多个中断	17
1.4.4 多道程序	19
1.5 存储器的层次结构	19
1.6 高速缓冲存储器	22
1.6.1 动机	22
1.6.2 cache 原理	22
1.6.3 cache 设计	24
1.7 I/O 通信技术	25
1.7.1 程序控制 I/O	25
1.7.2 中断驱动 I/O	26
1.7.3 直接存储器存取	27
1.8 推荐读物	28
1.9 习题	28
附录 1A 两级存储器的性能特征	30
附录 1B 过程控制	35
第 2 章 操作系统概述	39
2.1 操作系统的目标和功能	39
2.1.1 操作系统作为用户 / 计算机接口	39
2.1.2 操作系统作为资源管理器	40
2.1.3 操作系统的易扩展性	42

2.2	操作系统的发展	42
2.2.1	串行处理	42
2.2.2	简单批处理系统	43
2.2.3	多道程序批处理系统	45
2.2.4	分时系统	48
2.3	主要的成就	49
2.3.1	进程	50
2.3.2	存储器管理	52
2.3.3	信息保护和安全	53
2.3.4	调度和资源管理	55
2.3.5	系统结构	56
2.4	现代操作系统的特征	58
2.5	Windows 2000 概述	61
2.5.1	历史	61
2.5.2	单用户多任务	62
2.5.3	客户/服务器模型	65
2.5.4	线程和 SMP	66
2.5.5	Windows 2000 对象	66
2.6	传统的 UNIX 系统	68
2.6.1	历史	68
2.6.2	描述	69
2.7	现代 UNIX 系统	70
2.7.1	系统 V 版本 4 (SVR4)	71
2.7.2	Solaris 2.x	71
2.7.3	4.4BSD	72
2.7.4	Linux	72
2.8	推荐读物	74
2.9	习题	75

第二部分 进程

第 3 章	进程描述和控制	79
3.1	进程状态	79
3.1.1	两状态进程模型	82
3.1.2	进程的创建和终止	82
3.1.3	五状态模型	84
3.1.4	被挂起的进程	87
3.2	进程描述	91
3.2.1	操作系统的控制结构	91
3.2.2	进程控制结构	93
3.3	进程控制	98

3.3.1	执行模式	98
3.3.2	进程创建	98
3.3.3	进程切换	99
3.3.4	操作系统的执行	101
3.4	UNIX SVR4 进程管理	103
3.4.1	进程状态	104
3.4.2	进程描述	105
3.4.3	进程控制	107
3.5	小结、关键术语和复习题	107
3.5.1	关键术语	107
3.5.2	复习题	108
3.6	推荐读物	108
3.7	习题	108
第4章	线程、对称多处理 (SMP) 和微内核	111
4.1	进程和线程	111
4.1.1	多线程	111
4.1.2	线程功能特性	114
4.1.3	例子—— Adobe PageMaker	116
4.1.4	用户级和内核级线程	117
4.1.5	其他方案	121
4.2	对称多处理	122
4.2.1	SMP 体系结构	122
4.2.2	SMP 组织结构	124
4.2.3	多处理器操作系统的设计	125
4.3	微内核	125
4.3.1	微内核体系结构	125
4.3.2	微内核组织结构的优点	127
4.3.3	微内核性能	128
4.3.4	微内核设计	128
4.4	Windows 2000 的线程和 SMP 管理	130
4.4.1	进程对象和线程对象	130
4.4.2	多线程	132
4.4.3	线程状态	133
4.4.4	OS 子系统的支持	134
4.4.5	对称多处理的支持	134
4.5	Solaris 的线程和 SMP 管理	134
4.5.1	多线程体系结构	134
4.5.2	动机	136
4.5.3	进程结构	136
4.5.4	线程的执行	137

4.5.5 把中断当作线程	138
4.6 Linux 的进程和线程管理	139
4.6.1 Linux 进程	139
4.6.2 Linux 线程	141
4.7 小结	141
4.7.1 关键术语	141
4.7.2 复习题	141
4.8 推荐读物	142
4.9 习题	142
第5章 并发性：互斥和同步	145
5.1 并发的原理	146
5.1.1 一个简单的例子	146
5.1.2 操作系统关注的问题	148
5.1.3 进程的交互	148
5.1.4 互斥的要求	151
5.2 互斥：软件的方法	152
5.2.1 Dekker 算法	152
5.2.2 Peterson 算法	155
5.3 互斥：硬件的支持	156
5.3.1 中断禁用	156
5.3.2 专门的机器指令	157
5.4 信号量	159
5.4.1 互斥	160
5.4.2 生产者/消费者问题	162
5.4.3 信号量的实现	168
5.4.4 理发店问题	169
5.5 管程	173
5.5.1 使用信号的管程	173
5.5.2 使用通知和广播的管程	176
5.6 消息传递	178
5.6.1 同步	178
5.6.2 寻址	180
5.6.3 消息格式	181
5.6.4 排队原则	181
5.6.5 互斥	181
5.7 读/写问题	183
5.7.1 读进程具有优先权	184
5.7.2 写进程具有优先权	185
5.8 小结、关键术语和复习题	187
5.8.1 关键术语	188

5.8.2 复习题	188
5.9 推荐读物	188
5.10 习题	189
第6章 并发性：死锁和饿死	198
6.1 死锁原理	198
6.1.1 可重用资源	201
6.1.2 可消费资源	202
6.1.3 死锁的条件	203
6.2 死锁预防	204
6.2.1 互斥	204
6.2.2 占有和等待	204
6.2.3 非剥夺	204
6.2.4 循环等待	204
6.3 死锁避免	205
6.3.1 进程启动拒绝	205
6.3.2 资源分配拒绝	206
6.4 死锁检测	209
6.4.1 死锁检测算法	209
6.4.2 恢复	210
6.5 一种综合的死锁策略	210
6.6 哲学家就餐问题	211
6.7 UNIX 的并发机制	213
6.7.1 管道	213
6.7.2 消息	214
6.7.3 共享存储区	214
6.7.4 信号量	214
6.7.5 信号	215
6.8 Solaris 线程同步原语	215
6.8.1 互斥锁	216
6.8.2 信号量	217
6.8.3 Reader/Writer 锁	217
6.8.4 条件变量	217
6.9 Windows 2000 的并发机制	218
6.10 小结、关键术语和复习题	219
6.10.1 关键术语	219
6.10.2 复习题	219
6.11 推荐读物	219
6.12 习题	220

第三部分 存储器	225
第7章 存储器管理	226
7.1 存储器管理需求	226
7.1.1 重定位	226
7.1.2 保护	227
7.1.3 共享	227
7.1.4 逻辑组织	228
7.1.5 物理组织	228
7.2 存储器分区	228
7.2.1 固定分区	228
7.2.2 动态分区	231
7.2.3 伙伴系统	234
7.2.4 重定位	236
7.3 分页	236
7.4 分段	240
7.5 小结、关键术语和复习题	241
7.5.1 关键术语	241
7.5.2 复习题	242
7.6 推荐读物	242
7.7 习题	242
附录 7A 加载和链接	244
第8章 虚拟存储器	249
8.1 硬件和控制结构	249
8.1.1 局部性和虚拟存储器	250
8.1.2 分页	252
8.1.3 分段	260
8.1.4 分段和分页的组合	261
8.1.5 保护和共享	262
8.2 操作系统软件	263
8.2.1 取策略	264
8.2.2 放置策略	265
8.2.3 替换策略	265
8.2.4 驻留集管理	271
8.2.5 清除策略	275
8.2.6 加载控制	276
8.3 UNIX 和 Solaris 存储器管理	277
8.3.1 分页系统	277
8.3.2 内核存储分配器	280
8.4 Linux 存储器管理	281